Über den Einfluß tiefer Temperaturen

auf das

Brechungs- und Zerstreuungsvermögen

durchsichtiger Körper.

Inaugural-Dissertation.

Verfaßt und der

hohen philosophischen Fakultät der

Kgl. Bayer. Ludwig-Maximilians-Universität München

zur

Erlangung der Doktorwürde

vorgelegt von

KARL GEORG FRANK.

München, 2. Mai 1901.

Köln 1905.

Kölner Verlags-Anstalt und Druckerei A.-G.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552301_0092

Meinem verehrten väterlichen Freunde

Herrn Bernhard Meyersfeld
in Braunschweig

in Dankbarkeit gewidmet.

Über den Einfluß tiefer Temperaturen auf das Brechungs- und Zerstreuungsvermögen durchsichtiger fester Körper.

Die bisherigen Untersuchungen über die Veränderung der optischen Konstanten fester Körper durch Änderung der Temperatur, erstrecken sich fast ausschließlich auf das Temperaturgebiet über Null. Es war daher aus theoretischen und praktischen Gründen wünschenswert diese Untersuchungen auch für tiefe Temperaturen durchzuführen. Wegen der geringen Änderungen der Brechungsindices durch Temperatureinfluß genügte es, sich auf drei verschiedene Temperaturen zu beschränken, die verhältnismäßig leicht und in völlig genügender Beständigkeit erhalten werden konnten. Dies sind: die durch schmelzendes Eis erzeugte Temperatur von 0^0, die durch ein Gemisch von fester Kohlensäure und Alkohol erhaltene Temperatur von — $78{,}6^0$ und die Temperatur der siedenden flüssigen Luft — $190{,}8^0$. Die älteren Arbeiten dienten zumeist dem Zweck: Aufschluß über die Beziehungen zwischen Brechungsindex und Dichte der Körper zu geben, allein sie haben zu keinem eindeutigen, allgemein anerkannten Ergebnisse geführt. Dem Satze von der Proportionalität zwischen Brechungsindex und Dichte steht vor allem die Tatsache entgegen, daß bei einigen Körpern die durch Temperaturänderung hervorgerufene Änderung des Brechungsindexes der Änderung der Dichte gerade entgegengesetzt verläuft. So zeigt zum Beispiel Kalkspat und eine Anzahl Jenaer Gläser, darunter das von mir untersuchte mit S. 164 bezeichnete, bei Zunahme der Temperatur auch eine Zunahme des Brechungsexponenten, Quarz, Steinsalz, Sylvin und andere Jenaer Gläser, darunter das von mir untersuchte O. 225, das entgegengesetzte Verhalten, während anderseits bei diesen Substanzen eine durchgängige Abnahme der Dichte mit zunehmender Temperatur zu verzeichnen ist.

Um zu einer Erklärung dieser Erscheinungen zu gelangen, hat Pulfrich[1]) eine eingehende experimentelle Untersuchung ausgeführt und hat, gestützt auf durch diese erhaltene Ergebnisse, wie auf theoretische Erwägungen, seine Ansichten über die Ursache dieser Erscheinungen in folgendem Satze ausgesprochen:

„Zur Erklärung für das Verhalten der Brechungsindices durchsichtiger fester Körper unter dem Einfluß der Temperatur, ist die Annahme einer neben der Volumänderung herlaufenden Vergrößerung des Absorptionsvermögens im blauen und ultrablauen Teile des Spectrums, nicht nur notwendig, sondern auch vollständig ausreichend."

„Die beiden Ursachen sind in ihren Wirkungen einander entgegengesetzt, die Abnahme der Dichte vermindert den Index, die sich steigernde Absorption im Blau erhöht denselben wieder; je nachdem nun die eine oder andere der beiden Wirkungen überwiegt, haben wir es mit einer Abnahme oder Zunahme des Brechungsindex zu tun; wenn die beiden Wirkungen sich gerade aufheben, bleibt der Brechungsindex anscheinend ganz befreit von dem Einfluß der Temperatur".

Pulfrich weist darauf hin, daß die durch Temperaturänderung hervorgerufene Ausdehnung eines Körpers nicht zu identifizieren sei mit der durch mechanische Kräfte hervorgebrachten; in verschiedener Weise werde also auch die auf verschiedene Art erzeugte Dichteänderung auf den Brechungsindex einwirken. Durch direkte Versuche zeigte Pulfrich dann, daß bei erhöhter Temperatur für eine Anzahl Jenaer Gläser eine Zunahme der Absorption eintritt, und daß, wenigstens bei der Mehrzahl der Flintgläser, die Absorption im blauen und ultrablauen Teile des Spektrums so stark ist, daß die Absorptionszunahme im Rot dagegen kaum in Betracht kommt.

Nach den Anschauungen, die in den neueren Theorien der Dispersion und anomalen Dispersion ausgesprochen sind, ist es demnach ganz folgerichtig, wenn Pulfrich die

[1]) Pulfrich: Wied. Ann. B 45. 1892. S. 609—665.

durchgängige Steigerung der Dispersion infolge Temperaturerhöhung, auf eine vermehrte Absorption im Blau und Ultrablau zurückführt. Da durch diese Absorption im Blau das Spektrum sozusagen gedehnt wird, also eine Steigerung der Dispersion zur Folge hat, ist eine stetige Steigerung derselben bei Temperaturzunahme die notwendige Voraussetzung für die Richtigkeit der Pulfrichschen Anschauungen. Aus Pulfrichs Beobachtungen geht eine solche Steigerung auch deutlich hervor; desgleichen hat derselbe an allen früheren Beobachtungen, die den Einfluß der Temperatur auf das Brechungsvermögen fester Körper zum Gegenstande hatten, eine wesentliche Übereinstimmung mit seinen eigenen Ergebnissen nachgewiesen.

Eine weitere Bestätigung seiner Behauptungen erblickte Pulfrich darin, daß die von ihm aus Dichteänderungen berechneten Änderungen des Brechungsexponenten, von den beobachteten Werten $\triangle$ n subtrahiert, immer einen positiven Rest ergeben. Diesen Berechnungen waren die drei bekannten Ausdrücke

$$\frac{n-1}{d} = \text{const}; \quad \frac{n^2-1}{d} = \text{const}; \quad \frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{1}{d} = \text{const}$$

zugrunde gelegt, die Pulfrich nur als Näherungsformeln gelten läßt; er sieht diese positiven Reste als „die vom Einfluß der Dichteänderung befreite Wirkungsäußerung des geänderten Absorptionsvermögens an, das der Hauptsache nach nur von einer Steigerung des letzteren im blau und ultrablau herrühren könne".

Auf Anregung Pulfrichs hat J. O. Reed [1]) eine Anzahl Jenaer Gläser wie Quarz, Kalkspat, Flußspat bis zu Temperaturen bis über 400° untersucht und er faßt seine Ergebnisse in folgenden Ausführungen zusammen.

Die von Pulfrich bemerkte Steigerung der Dispersion mit wachsender Temperatur findet bei den sämtlichen von ihm untersuchten Körpern statt, selbst in den Fällen, wo eine bedeutende Abnahme des Brechungsindex vorhanden ist.

Von den untersuchten Körpern zeigten mit wachsender Temperatur eine Abnahme die Brechungsexponenten von

[1]) Reed: Wiedemanns. Anm. Bd. 65. 1898. S. 707.

Flußspat und Quarz und von verschiedenen Gläsern nach erreichter Erweichungstemperatur, eine Zunahme der Brechungsexponenten des Kalkspates und aller untersuchter Gläser bis in die Nähe der Erweichungstemperatur. Diese Erweichungstemperatur ist durch die Methode des Verschwindens von Spannungen ermittelt worden. [1])

Das Brechungsvermögen des Flußspates zeigte eine geringe und regelmäßige Abnahme und eine sehr geringe Zunahme der Dispersion. Diese Beobachtung stehe gut im Einklang mit der bekannten geringen Absorptionskraft des Flußspats, sodaß Reed selbst bei den höchsten erreichbaren Temperaturen die blauen und violetten Teile des Spektrums deutlich wahrnehmen konnte. Dieses Verhalten des Flußspates entspricht somit auch der allgemeinen Schlußfolgerung Pulfrichs über den Zusammenhang von Absorption und Dispersion.

Quarz zeigte eine sehr starke Abnahme des Brechungsvermögens für beide Strahlen, die umso größer wird, je mehr die Temperatur wächst. Bei Kalkspat dagegen nimmt das Brechungsvermögen mit wachsender Temperatur bedeutend zu für den außerordentlichen Strahl, sehr wenig für den ordentlichen.

Reed glaubt die Umkehr der Temperaturwirkung auf die Brechungsexponenten der Gläser, die bis zur Erweichungstemperatur erhitzt waren, molekularen Veränderungen der Gläser zuschreiben müssen und bemerkt, daß diese Gläser nach der Wiederabkühlung einen vom ursprünglichen Brechungsindex etwas verschieden zeigten. Auch G. Müller [2]) weist auf die gute Übereinstimmung hin, die zwischen den Pulfrichschen Untersuchungen und seinen eigenen Messungen [3]) an Kalkspat und den von ihm untersuchten Gläsern insofern bestehe, als bei diesen eine Steigerung der Dispersion bei zunehmender Temperatur erfolge. Dagegen bestehe bei den Messungen an Quarz, auch der von Pulfrich vorgenommenen

[1]) Schott: Zeitschr. für Instrumentenkunde 1891 S. 330.

[2]) G. Müller: Wiedemanns Ann. Bd. 46. S. 260.

[3]) G. Müller: Pubik. des astrophys. Observ. zu Potsdam (16) 4 S. 151. 1885.

Umrechnung auf den leeren Raum, nach wie vor eine Differenz zwischen den Ergebnissen, denn Müller habe so gut wie keine Änderung der Dispersion, höchstens eine geringe Abnahme derselben mit der Temperatur finden können. Dem gegenüber weist Wüllner [1]) darauf hin, daß nach Versuchen, die von Danzebrink [2]) in seinem Laboratorium ausgeführt worden sind, „eine selbst sehr kräftige Absorption einen solchen Einfluß auf den Brechungsexponenten nicht erkennen lasse". Danzebrink erhielt für die Differenz der Brechungsexponenten von $H\alpha$ und $H\gamma$ für eine mit Ammoniak versetzte 8,13% Lösung von Kupfersulfat: $n\alpha - n\gamma = 0{,}00931$ bei der Temperatur von 10°; für eine 9% Lösung des ganz farblosen schwefelsauren Natriums bei 17,7° C. dieselbe Differenz; für Wasser ist derselbe bei 14° C. $n\gamma - n\alpha = 0{,}00925$. Für das sehr stark absorbierende schwefelsaure Kupferammoniak ist die Dispersion die gleiche wie für Wasser und die Natriumsulfatlösung. Für eine Alkanninlösung, die violett und blau vollständig absorbierte, sodaß $n\gamma$ nicht mehr beobachtet werden konnte, war $n\beta - n\alpha = 0{,}00592$, für das Lösungsmittel Alkokol ist $n\beta - n\gamma = 0{,}00609$. Man müßte also, meint Wüllner, bei der von Pulfrich gegebenen Erklärung des Verhaltens der festen Körper annehmen, daß ein Gebiet äußerst starker zu anomaler Dispersion Anlaß gebender Absorption aus dem ultravioletten gegen das violette des Spektrums heranrücke.

Indessen scheinen mir diese Einwürfe Wüllners nicht stichhaltig zu sein; denn die zur Beweisführung herbeigezogene Vergleichung der Dispersion des Kupferammoniaks mit der des Wassers und des Natriumsulfates schließt die Behauptung in sich, daß allgemein stark gefärbte, also selektiv absorbierende, Flüssigkeiten eine größere Dispersion besitzen, als ungefärbte, sehr schwach absorbirende. Solch eine Vergleichung verschiedener Substanzen ist aber deshalb nicht beweiskräftig, weil die in erster Linie durch die Natur jedes der Körper bedingte Größe der Dispersion, einen Einfluß der

[1]) Wüllner: Lehrb. d. Physik IV. Bd. S. 219. Fünfte Aufl.

[2]) Danzebrink: Programm des Aachener Kaiser Karl-Gymnasiums 886. n. Beiblätter X S. 493.

Absorption vollständig verdeckt. Zweitens ist die Folgerung, die Wüllner zu ziehen geneigt ist: aus der etwas geringeren Dispersion des durch Alkannin rot gefärbten Alkohols im Vergleich zum reinen Alkohol, deshalb nicht richtig, weil, wie Wüllner a. a. O. 1) selbst hervorhebt, „wir keineswegs annehmen können, daß die Brechungsexponenten des Lösungsmittels nach Zwischenlagerung der gelösten Substanz, denselben Wert haben, wie für das Lösungsmittel, wenn es die Substanz nicht gelöst enthält.“ Ein Vergleich wäre nur dann statthaft, wenn man eine solche stark absorbierende Lösung farblos machen könnte, ohne ihre chemische Zusammensetzung zu ändern und die dann wahrgenommene Dispersion mit der früheren vergleichen würde.

Da Pulfrich in seiner erwähnten Abhandlung die gesamte Literatur bis 1892 verzeichnet und die Ergebnisse der Beobachtungen, soweit es sich um dieselben Substanzen handelt, in seiner Arbeit besprochen hat, genügt wohl es hier, darauf hingewiesen zu haben.

Die nachstehend beschriebenen Untersuchungen, die ich leider äußerer Umstände halber vorzeitig abbrechen mußte, dienen nun in erster Linie dem Zweck, die Pulfrichschen Anschauungen für das Gebiet der tiefen Temperaturen zu prüfen; und zwar insbesondere insofern, als mir oblag festzustellen, ob bei abnehmender Temperatur unter Null, eine durchgängige Abnahme der Dispersion eintritt, gleichgültig, ob die Brechungsindices der einzelnen Spektrallinien auch abnehmen oder das entgegengesetzte Verhalten zeigen. Dementsprechend war auch die Auswahl der untersuchten Substanzen: Kalkspat und „Schweres Jenaer Silikatflintglas S. 164“, deren Brechungsindices bei wachsender Temperatur über Null ebenfalls wachsen, und Quarz, Steinsalz, Sylvin und „Jenaer leichtes Phosphat Crownglass O. 225“, deren Brechungsindices unter den gleichen Bedingungen abnehmen.

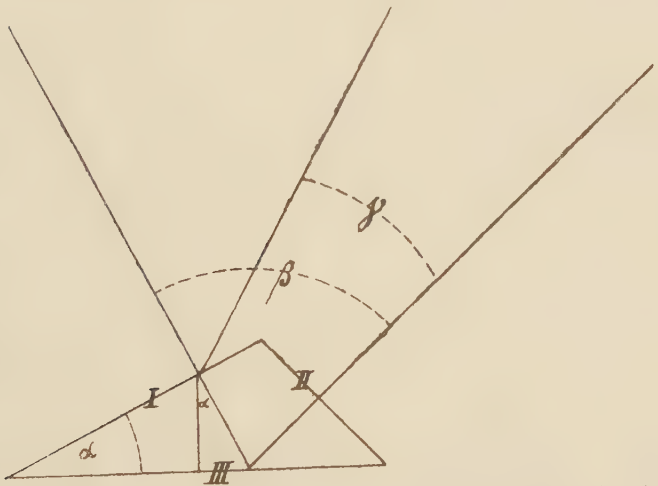
Beobachtungsmethode und Formeln.

Die von Abbe angegebene Methode zur Bestimmung des Brechungsvermögens und der Dispersion bildete die

Grundlage meiner Untersuchungen; ferner benutzte ich die von Pulfrich angegebene Verbesserung: Prismen mit einer das Spaltbild direkt reflektierenden Fläche zu verwenden.

Der unveränderten Abbe-Pulfrichschen Methode stellen sich jedoch bei Untersuchungen in tiefen Temperaturen sehr große experimentelle Schwierigkeiten entgegen, und es machte sich eine Modifikation der ersteren notwendig, die Herr Geheimrat Röntgen angab, und so die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen erst ermöglichte. Diese Modifikation der Abbe-Pulfrichschen Methode besteht darin, den Winkel β der Normalen der Flächen I und II und den Winkel α — den brechenden Winkel — bei gewöhnlicher Temperatur zu messen, dann den Winkel γ, d. i. der Winkel zwischen dem von der Fläche II normal reflektierten Strahl und einer der Spektrallinien, bezw. dessen Veränderung bei den tiefen Temperaturen zu messen.

Diese Methode ist nun folgende.



Obige Abbildung stelle einen Hauptschnitt durch ein Abbe'sches Prisma dar, das mit der Pulfrich'schen Hülfsfläche II versehen ist. Bezeichnet α den brechenden Winkel

[1]) Abbe: Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper. Jena 1874.

[2]) Pulfrich: Über den Einfluß der Temperatur auf die Lichtbrechung des Glases: Wied. Ann. Bd. 45, S. 617.

des Prismas, β den Winkel, den die Normalen der Fläche I und II miteinander bilden und γ den Winkel, den eine bestimmte Spektrallinie, hier $H\beta$, bei der Temperatur 0^0 C. z. B., mit der Normalen der Fläche II bildet, so hat man zur Bestimmung des Brechungsindexes von $H\beta$ bei 0^0, je nachdem γ außerhalb oder innerhalb von β liegt, und $N\beta$ den Brechungsindex von $H\beta$ bezeichnet

(1) $$N\beta = \frac{\sin(\beta + \gamma)}{\sin \alpha}$$

Man mißt bei gewöhnlicher Temperatur den Winkel α und den Winkel der der Normalen β, kühlt dann das Prisma auf 0^0, bezw. — 78^0, — 190^0, ab und mißt bei jeder dieser Temperaturen den Winkel γ. Da sich, der allgemein angenommenen Voraussetzung nach, die Winkel eines Prismas aus homogener Substanz durch Temperaturänderungen nicht ändern, so können die Änderungen des Winkels γ nur durch eine Änderung des Brechungsvermögens der Substanz verursacht worden sein.

Bei der Abbe'schen Methode erscheinen die Spaltbilder, welche durch Strahlen spektral zerlegten und bei senkrechter Incidenz auf die Fläche III reflektierten Lichtes gebildet werden und das Spaltbild, das durch senkrecht auf die Fläche II auffallende und von dieser direkt reflektierte Strahlen erzeugt wird, im Gesichtsfelde des Fernrohres. Erstere sind im folgenden als „Spektrallinien" bezeichnet, letzteres ist einfach „Spaltbild" genannt. Man mißt nun die Abstände der Spektrallinien vom Spaltbild bezw. die Abstände der einzelnen Spektrallinien von einander, drückt dieselben in Winkelgrößen aus, welch letztere die Winkel γ für die verschiedenen Temperaturen, und damit, vermöge der oben angeführten Beziehung, die Ermittelung des Brechungsexponenten und der Dispersion gestatten. Die Winkel γ und deren Veränderung werden bei dieser Methode mikrometrisch gemessen, wodurch nebst andern Vorteilen eine große Genauigkeit erreicht wird.

Auch zur Berechnung der Messungsergebnisse bediente ich mich der von Abbe angewandten Formeln. Bezeichnet man mit $N\beta$, den durch Formel (1) gegebenen Brechungsindex für die β Linie (C) des Wasserstoffspektrums bei einer

gewissen Temperatur, N_{β_2} den Brechungsindex derselben Linie bei einer anderen Temperatur, so hat man:

$$N_{\beta} = \frac{\sin(\beta \pm \gamma)}{\sin \alpha} \qquad N_{\beta_2} = \frac{\sin(\beta \pm \gamma + \delta)}{\sin \alpha}$$

wo δ die durch Temperatureinfluß hervorgerufene Veränderung von γ bezeichnet. Setzt man nun $\beta \pm \gamma = \varphi$, so erhält man:

$$N_{\beta_2} - N_{\beta_1} = \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \left(\sin(\varphi \pm \delta) - \sin \varphi\right)$$

$$= \frac{1}{\sin \alpha} \cdot 2 \cos\left(\varphi \pm \frac{\delta}{2}\right) \cdot \sin \frac{\delta}{2}$$

und da δ immer sehr klein ist:

$$(2) \qquad N_{\beta_2} - N_{\beta_1} = \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \cos\left(\varphi \pm \frac{\delta}{2}\right) \cdot \sin \delta$$

Ausgehend von dem so gewonnenen Werte für den Brechungsindex bei einer bestimmten Temperatur kann man dann in ganz gleicher Weise die Dispersion für diese Temperatur bestimmen.

Es sei: N_β der Brechungsindex für die H_β Linie,
N_γ der Brechungsindex für die H_γ Linie
und ψ der mikrometrisch gemessene Ablenkungswinkel zwischen den beiden Strahlen, so erhält man:

$$N_\beta = \frac{\sin(\beta \pm \gamma)}{\sin \alpha} \qquad N_\gamma = \frac{\sin(\beta \pm \gamma + \psi)}{\sin \alpha}$$

$$N_\gamma - N_\beta = \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \left[\sin(\beta \pm \gamma + \psi) - \sin(\beta \pm \gamma)\right]$$

oder nach obiger Bezeichnung

$$= \frac{1}{\sin \alpha} \cdot 2 \cos\left(\varphi + \frac{\psi}{2}\right) \cdot \sin \frac{\psi}{2}$$

$$(3) \qquad N_\gamma - N_\beta = \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \cos\left(\varphi + \frac{\psi}{2}\right) \sin \psi$$

Um den Ausdruck, $\triangle N$, für die Änderung des Brechungsindex für ein Grad Celsius zu bilden, ergibt sich für eine Mitteltemperatur t_m

$$= \frac{t_2 + t_1}{2} \qquad \triangle N = \frac{N_2 - N_1}{t_2 - t_1}$$

Hier bezeichnen t_2 bezw. t_1 die eine der beiden Temperaturen, bei denen die Bestimmung des Brechungsindexes vorgenommen wurde.

Für die Reduktion des relativen Brechungsindexes auf den leeren Raum gilt die Formel

$$\mathfrak{N} = N \cdot n,$$

wenn man mit $\mathfrak{N}$ den absoluten, mit N den relativen Index der betreffenden Substanz und mit n den absoluten Brechungsindex der Luft — 1,000294 — bezeichnet.

Wie aus den Versuchen von Holborn und Wien[1]) zu entnehmen ist, gilt der Satz von der Proportionalität des Ausdehnungskoeffizienten der Luft zur Temperatur auch noch für die Temperatur der flüssigen Luft. Somit konnte ich für die vorzunehmende Reduktion unbedenklich die Gültigkeit der Beer'schen Beziehung zwischen Brechungsindex und Dichte.

$$\frac{n - 1}{d} = \frac{n_0 - 1}{d_0} = \text{const}$$

annehmen, da die, das Prisma umgebende Luft nur unter einem Druck von 13 mm stand. Bezeichnet man mit n. den Brechungsindex der Luft bei der in Frage kommenden Temperatur mit n^0 den Index der Luft bei 0^0 und entsprechend mit d. und d_0 die bez. Dichten, so erhält man aus der Beerschen Formel:

$$n_. = 1 + n_0 - 1 \cdot \frac{b}{760 \cdot (1 + \alpha t)}$$

worin b den Quecksilberdruck im Manometer bezw. Barometer bezeichnet, $\alpha = 0{,}00367$ ist und t . die betreffende Temperatur angibt. Also erhält man für den absoluten Brechungsindex des Körpers:

$$\mathfrak{N} = N + N \cdot \frac{(n_0 - 1)\, b}{(1 + \alpha t) \cdot 760 .}$$

Der Wert von $\triangle$ N, der Änderung des absoluten Brechungsindexes für ein Grad C, ergibt sich leicht in folgender Weise:

$$\mathfrak{N}_1 = N_1 \cdot n_1$$
$$\mathfrak{N}_2 = N_2 \cdot n_2$$
$$\mathfrak{N}_2 - \mathfrak{N}_1 = N_2\, n_2 - N_1\, n_1$$
$$= (N_2 - N_1)\, n_2 + N_1\, (n_2 - n_1)$$

[1]) Holborn und Wien. Wiedem. Ann. Bd. 47. S. 107.

oder da das erste Glied sich infolge des Wertes von n_2, der sich nur wenig von eins unterscheidet, auf $N_2 - N_1$ reduziert, so hat man:

$$\triangle \mathfrak{N} = \triangle N + N_1 \cdot \triangle n.$$

gültig für dieselbe Temperatur wie $\triangle N$. Den Wert von $\triangle n$, der Änderung des absoluten Brechungsindexes der Luft für 1° C. berechnet man auf folgende Weise:

$$n_1 - 1 = \frac{(n_0 - 1)\, b}{(1 + \alpha\, t)\ 760}$$

für die um ein Grad tiefere Temperatur gibt dies

$$n_2 - 1 = \frac{(n_0 - 1)\, b}{[1 + \alpha\,(t + 1)]\ 760}$$

also

$$n_2 - n_1 = \triangle n = n_0 - 1 \cdot \frac{b}{760} \left[\frac{1}{1 + \alpha\,(t + 1)} - \frac{1}{1 + \alpha\, t} \right]$$

$$\triangle n = \frac{(n_0 - 1)\, b}{760} \cdot \frac{\alpha}{(1 + \alpha\, t)\,[1 + \alpha\,(t + 1)]}$$

Mittels dieser Formeln berechnete ich die nachstehend verzeichneten Brechungsindices der Luft bei einem Druck von 13 mm und den Temperaturen 0°, − 78,6° und − 190,8°; ebenso die Werte von $\triangle n$ für die gleichen Verhältnisse.

$n_0 = 1{,}000\,005\,03$	$\triangle n_0 = 0{,}000\,000\,026$
$n_{78{,}6} = 1{,}000\,007\,06$	$\triangle n_{78{,}6} = 0{,}000\,000\,035$
$n_{190{,}8} = 1{,}000\,016\,8$	$\triangle n_{190{,}8} = 0{,}000\,000\,20.$

Beschreibung des Apparates.

Die Anforderungen, die an den Apparat im Interesse einer möglichst großen Genauigkeit gestellt werden mußten, lassen sich im wesentlichen in folgenden Punkten zusammenfassen.

Erstens mußte das Glasprisma in möglichst unmittelbare Berührung mit der Kühlflüssigkeit gebracht werden, damit der Temperaturabfall möglichst gering war, dann durfte die zu genauen Messungen notwendige leichte Beweglichkeit des Spektrometerkreises nicht beeinträchtigt werden; die Lichtzufuhr sollte so geschehen, daß die Anwendung

Dewar'scher Flaschen als Gefäße für die Abkühlungsflüssigkeit ermöglicht ward und endlich sollte sich das Prisma in möglichst luftverdünntem Raume befinden, damit die Genauigkeit nicht den Einfluß verschieden stark brechender Luftschichten verringert würde.

Der konstruierte Apparat entspricht nun diesen Anforderungen und bewährte sich aufs beste. Der wesentlichste Bestandteil ist ein Abbe'sches Spektrometer[1]), wie es in bekannter Konstruktion von der Firma Zeiß in Jena hergestellt wird. Dieses Spektrometer wurde in einem aus starken, trockenen Brettern bestehendem Gestell so befestigt, daß die Drehungsaxe des Instrumentes wagerecht lag, die Ebene des Teilkreises also senkrecht stand. Die Gestalt dieses Holzgestelles ist im wesentlichen aus den beiden Abbildungen zu ersehen, seine einzelnen Teile sind dort mit den Ziffern 1, 2, 3, 4 bezeichnet. Auf der wagerechten Grundplatte (1) stehen rechtwinklig zwei starke Bretter (2), die oben und in der Mitte durch stützende Querbretter (3), (4) fest verbunden sind. Das vordere dem Teilkreis nächste der Bretter (2) besitzt einen in Abbildung II sichtbaren türförmigen Ausschnitt, der ein Brett aus hartem Holz umschließt, das mit dem Vorderbrett (2) in gleicher Ebene steht und an seinem oberen Ende eine Art Zapfenlager mit aufschraubbarem Lagerdeckel besitzt. In diesem Lager ist die Buchse des Spektrometers durch den mit zwei starken Holzschrauben fest angezogenen Lagerdeckel festgeklemmt, während die Füße des Instrumentes mittels Metallklammern und Holzschrauben an dem Rückbrett (2) befestigt sind. Das vordere Brett (2) trägt an seinem oberen Ende den massiven Holzklotz (5), auf dem sich das durch die Schraube (6) verstellbare Fernrohr (7) befindet, das sich um zwei zu seiner optischen Axe senkrechten Spitzenschrauben (8) als Drehungsaxe verstellen läßt.

Auf der Alhidade (9) des Spektrometers ist eine fast ebenso große runde Platte aufgeschraubt, die mit dem rechtwinklig gebogenen T-Eisenbügel (10) ein einziges Stück

[1]) E. Abbe: Neue Apparate zur Bestimmung des Brechungs- und Zerstreuungsvermögens fester und flüssiger Körper. Jena 1874.

bildet. Am anderen Ende des Eisenbügels bildet eine, durch harte Lötung mit letzterem vereinigte, viereckige Platte, deren Fläche rechtwinklig zum Bügel liegt, eine geeignete Auflagefläche zur Befestigung der Teile des Apparates, die das Versuchsprisma umschließen.

In ein entsprechend geformtes Ansatzstück (13) ist das Glasrohr (14) mit Glycerin-Kitt, Bleiglätte und Glycerin, zu einem dünnen Brei angerührt — eingekittet und, nach der entgegengesetzten Seite sich erstreckend, ein Messingrohr eingeschraubt und eingelötet (15). An seinem unteren Ende trägt dieses Messingrohr das Metallgehäuse, welches das Prisma enthält und bei der Beobachtung in die Abkühlungsflüssigkeit eintaucht. Das obere Ende des erwähnten Glasrohres ist durch eine planparallele Platte, die mit Siegellack eingekittet ist, verschlossen; eine Metallfassung bildet zwischen beiden das Verbindungsstück. Das Aufsatzstück (13) trägt noch einen Hahn, der durch einen Schlauch mit der Wasserluftpumpe verbunden war.

Unmittelbar unter den eben beschriebenen Teilen des Apparates befindet sich in einem kleinen Holzgestell (18) die mit besonders weitem Halse versehene Dewar'sche Flasche (19), aus der Werkstätte von Reinhold Burger Berlin, die bei Beobachtungen bei 0° durch ein etwa 25 cm hohes zylindrisches Glasgefäß von etwa 15 cm Durchmesser ersetzt wurde, und dann mit Eis gefüllt war. Das Holzgestell war so eingerichtet, daß man das wagerechte Brett, auf dem die Flasche ruhte, mit dieser auf- und abwärts verschieben bezw. in beliebiger Höhe befestigen konnte.

Um eine Einwirkung der kalten ausfließenden Luft oder Kohlensäure auf den Apparat zu verhindern, wurde ein großer Metallschirm zwischen die Dewar'sche Flasche und den Apparat gestellt. Dieser Metallschirm bestand aus zwei verzinnten Eisenblechplatten (Weißblech), die im Abstand von etwa 5 mm durch zwischenliegende Pappstücke getrennt waren, sodaß eine Luftströmung zwischen den Platten stattfinden konnte. Um die unmittelbare Leitung der Kälte durch T-Eisenbügel zum Apparat abzuschwächen, war zwischen dem Flantsch (11) und dem die Rohre tragenden Ansatzstück

(13) eine Hartgummiplatte (12) eingeklemmt. Zu ungünstigem Einfluß auf die Funktionen des Spektrometers hätte diese Kältezuführung, die ja vollständig gleichmäßig von der Axe ausgeht, nur dann führen können, wenn die Axe durch eine dicke Fettschicht von der Buchse getrennt wäre; da dann durch die stärkere Zusammmenziehung der ersteren, die sichere Lagerung der Axe beeinträchtigt worden wäre. Zur Verhütung dieses etwaigen Übelstandes wurde die Axe mit Petroleum geölt; gewöhnliches Fett eignete sich deshalb nicht, weil es sehr zäh und starr wurde und infolgedessen die Beweglichkeit der Axe beeinträchtigte. Übrigens war auch bei den stundenlangen Versuchen mit flüssiger Luft keine starke Abkühlung des Apparates bemerkbar, nur der Eisenbügel und die obere Fläche der Alhidade zeigten dann einen Beschlag aus kondensierter Luftfeuchtigkeit.

Um endlich den Einfluß der seitlichen Belastung der Axe durch den ganzen an der Alhidade befestigten Teil des Apparates möglichst unschädlich zu machen, wurde die Axe durch eine Blattfeder, die sich in der Ausbohrung des Dreifußes befand, fest in ihr Lager hineingezogen.

Die Abbildung I gibt zu dem vorhergehend Gesagten die anschauliche Ergänzung. Nachzutragen ist nur noch, daß eine Spiralfeder (21) das Fernrohr fest gegen die Stellschraube (6) zieht. Während die Abbildung I in einer Seitenansicht den gesamten Aufbau des Apparates darstellt, soll die Abbildung II im wesentlichen die Anordnung derjenigen Teile zeigen, die zur Beleuchtung, Einstellung, Ablesung und zur Temperaturmessung dienen; die Abbildung III enthält die Darstellung des eigentlichen „Prismengehäuses". Auf den Abbildungen I und II sind die einander entsprechenden Teile mit gleichen Ziffern bezeichnet.

Ein kleiner Zeiß'scher Beleuchtungsapparat (22) machte die von einer Geißler'schen H-Röhre (23) ausgehenden Strahlen convergent. Die den Apparat tragende Säule (24) war in ein seitlich am Holzgestell befestigtes Brett (25) in entsprechender Entfernung vom Fernrohr (7) und in solcher Höhe aufgeschraubt, daß die optische Axe des Linsensystems in gleicher Höhe mit dem Reflexionsprisma (26) war.

Zur Beleuchtung der Dispersionstrommel des Spektrometers war, von vorn gesehen rechts vom Apparat, eine Glühlampe (27) angebracht, deren Licht durch ein totalreflektierendes Prisma (28), das sich am einen Ende eines Messingrohres (29) befand, auf die Trommel geworfen wurde. Zur Abblendung der übrigen Strahlen diente ein über das Messingrohr gesteckter Papierschirm (30), während zur Abhaltung der Wärmestrahlung ein trogartiges, mit Wasser gefülltes Glasgefäß verwendet wurde (31). Da die Glühlampe immer nur ganz kurze Zeit brannte, nämlich nur, wenn ich die Ablesungen machte, so ist jede Beeinflußung der Mikrometerschraube durch die Wärmestrahlung ausgeschlossen. Die Ablesung der Trommelangaben wurde mittels des Fernrohres (32) ausgeführt. Letzteres ist mit einem Fadenkreuz versehen und war einfach und sicher durch eine Metallklammer seitlich am Holzgestell, in gleicher Höhe mit dem Beobachtungsfernrohr, so befestigt, daß ich zwischen dem Teilkreis und dem Holzgestell hindurch die Trommel erblicken konnte.

Um eine Einstellung der Spektralinien durch Drehung der Mikrometerschraube und ein gleichzeitiges Beobachten des Zusammenfallens der ersteren mit dem Fadenkreuz im Beobachtungsfernrohr zu ermöglichen, ersetzte ich den Rändelkopf der Mikrometerschraube durch ein doppeltes Kugelgelenk (33). Das Kugelgelenk besteht aus den gut kugelförmigen Köpfen zweier zylindrischer Messingstücke, deren eines den Rändelkopf der Mikrometerschraube (35) vertritt und die Trommel (36) auf letzterer festklemmt, und der kugelförmig ausgefrästen Fassung (33), in welche beide gut passend eingeschliffen sind. Fest verschraubt mit dem andern Messingstück ist ein mit einem Rändelkopf versehener langer Aluminiumdraht (34), mit welchem die Drehung des Gelenkes und somit der Mikrometerschraube ausgeführt wird. Die kugelförmigen Enden besitzen eingedrehte Nuten, in die ein in der Fassung befestigter Stift eingreift. Die Stifte in der Fassung sind derart angebracht, daß ihre Verbindungslinien mit dem Mittelpunkt der jeweiligen Kugel auf der durch die beiden Kugelmittelpunkte gelegten Verbindungslinie und zu

einander senkrecht stehen. Durch diese Anordnung ist erreicht, daß man die Schraube und Trommel mittels des Aluminiumstabes drehen kann, auch wenn letzterer einen Winkel mit der Axe der Mikrometerschraube bildet.

Zur Zuführung des Thermoelementes zum Inneren des Prismengehäuses wurde ein dünnes Messingrohr, von 4 mm Durchmesser, an dem Rohre (15) entlang geführt und in den oberen Teil des Prismengehäuses mit Zinn eingelötet. Dieses Messingrohr (35) (von vorn gesehen wie in Abbildung II an der linken Seite des Rohres (15) trug an seinem oberen Ende ein zylindrisches axial durchbohrtes Messingstück (37) auf welches ein dickwandiger Gummischlauch (38) geschoben wurde. Das andere Ende des Gummischlauches war über eine kurze Glasröhre geschoben, deren Hohlraum ganz mit Siegellack ausgefüllt war. Der Zweck dieser Anordnung war die Erreichung eines luftdichten Verschlusses des Hohlraumes, der von den Rohren (14) und (15) dem Prismengehäuse, dem dünnen Messingrohr und dem Gummischlauch gebildet wurde. Jenes dem Rohr (15) parallel laufende dünne Messingrohr enthielt nämlich das Thermoelement, das durch den Gummischlauch und jenes Rohr durchgesteckt wurde und im Prismengehäuse, dicht neben dem Versuchsprisma endigte, und mit Siegellack in das Glasrohr eingeschmolzen war.

Anfangs hatte ich versucht, das Thermoelement mit verschiedenen Kitten in das Rohr (35) einzukitten, allein es war nicht möglich, auf diese Weise einen luftdichten Abschluß zu erhalten, da die ungleiche Zusammenziehung des Metalles und des jeweiligen Kittes dies vereitelte; ein Verschluß durch Siegellack erwies sich als unbrauchbar, da dieser sich vom Metall löste, wenn dies abgekühlt wurde.

Da es mir nicht gelang, eine haltbare, luftdichte Kittung an den abgekühlten Metallteilen herzustellen, so suchte ich der Schwierigkeit dadurch Herr zu werden, daß ich das Thermoelement an einer Stelle einkittete, die durch einen schlechten Wärmeleiter, den Gummischlauch, vor starker Abkühlung geschützt wurde.

Gleiche Schwierigkeit veranlaßte die Kittung, die das Glasrohr (14) mit dem Ansatzstück (13) verband. Hier

gelangte ich zum Ziele, indem ich das Glasrohr oben und unten in eine Messingfassung einkittete, die untere Fassung mit dem Ansatzstück verlötete und dann über das Glasrohr und die beiden Fassungen einen weiten Gummischlauch zog, der durch Bindfaden, fest umwickelt, an die Wandungen der Fassungen angepreßt, so einen luftdichten Abschluß gewährte.

Ich habe nun noch eine Beschreibung des Prismengehäuses zu geben. Dieses war an das untere Ende des Messingrohres (15) mit Zinn angelötet und besteht im wesentlichen aus zwei Teilen.

Der obere, am Rohr festgelötete Teil hat die Form einer Kalotte, deren äußere Begrenzung aber durch eine scharfe, nach aufwärts gerichtete Kante gebildet wird. Abbild. III (1). Er enthält ferner das eingelötete Ende des dünnen, das Thermoelement (3) umschließenden Rohres (2), durch welches dieses in das Prismengehäuse eintritt.

Der zweite, untere, Teil wird gebildet durch eine halbkugelförmige Schale (4), die eine massive Halbkugel (5) umschließt. Diese ist in die Schale genau eingeschliffen, sodaß eine innige Berührung zwischen beiden stattfindet. Die Schale besitzt nahe ihrem inneren Rande eine eingedrehte Nut (6), in die sich drei Schrauben (7), deren Gewinde in der Nähe des Randes in die massive Halbkugel eingeschnitten ist, mit ihren Köpfen derart hineinpressen lassen, daß die Halbkugel fest an der Kugelschale anliegt. In eine zentrale zylindrische Ausbohrung der Halbkugel ist ein Kupfer-Zylinder eingepaßt, der durch zwei (nicht gezeichnete) Schrauben fest gegen den Boden der Bohrung gedrückt wird. Dieser Zylinder trägt das Prisma, das satt auf einer entsprechend schrägen Fläche der ersteren aufliegt. Dieses Versuchsprisma (8) legt sich mit seiner unteren Kante gegen zwei kleine Schrauben (9), die ein Hinabgleiten auf der schrägen Fläche verhindern und wird durch zwei winzige Klemmen (11) aus sehr dünnem, federndem Messingblech sanft gegen die Fläche des Zylinders gepreßt. Aus dem Schnitt A in Abbildung III und der Ansicht von oben, B_1, ergibt sich in anschaulicher Weise das oben Gesagte.

Man ersieht daraus, daß kein berechtigter Einwurf gegen die Annahme erhoben werden kann, daß das Prisma schon nach kurzer Zeit die Temperatur der Kühlflüssigkeit annimmt. Dies zeigt sich auch tatsächlich besonders daran, daß schon wenige Minuten nach dem Eintauchen in die Kühlflüssigkeit durch das Voltmeter konstante Temperatur angezeigt wurde. Um unter den in Betracht kommenden Metallen ein solches von möglichst großer Wärmeleitung zu verwenden, wurden alle Teile aus Rotguß hergestellt, weil dieses neben einem geringen Zink- und Zinngehalt einen hohen Prozentsatz Kupfer aufweist und hinsichtlich der Wärmeleitungsfähigkeit diesem von den in Frage kommenden Metallen wohl am nächsten kommt. Ein enges und tiefes Loch in der Halbkugel nahm das Ende des Thermoelements auf, das durch mit Schellack getränktem Seidenbande isoliert war.

Große Schwierigkeit verursachte die Notwendigkeit, die beiden äußeren Teile, die Kugelkalotte und die halbkugelförmige Schale, so miteinander zu verbinden, daß die letztere die zum Justieren des Prismas nötige Bewegungsfreiheit behielt und doch, nach der endgültigen Justierung, luftdicht abschloß. Zu diesem Zweck wurde die Kante der Schale kugelförmig abgedreht und äußerst sorgfältig auf die innere Fläche der Kalotte aufgeschliffen; die kugelförmige Wölbung des Randes ermöglichte alle für die Justierung nötigen Verschiebungen und zugleich bei der Vollkommenheit der aufeinander geschliffenen Flächen einen sehr guten Luftabschluß.

Bemerken will ich hier, daß die Flächen ohne irgend welche Fettung aufeinander gepreßt wurden; denn es stellte sich heraus, daß Fett oder Öl eine der beabsichtigten gerade entgegengesetzte Wirkung hat, weil es spröde und unzusammenhängend wurde, wenn man Gehäuse in flüssige Luft tauchte und der Luft einen Eintritt in das Innere des Gehäuses gestattete.

Um die Schleifflächen fest aufeinander zu pressen, bediente ich mich eines dreiarmigen Bügels, der von unten her über das Gehäuse geschoben wurde, sich, in gleich zu erörternder Weise, in den aufwärts stehenden Rand des

Oberteiles festhakte und durch eine Rändelkopfschraube den unteren Teil gegen den oberen anpreßte. Der Bügel besteht aus einem Stück Messingblech, das die Form einer Scheibe hat, von der radial drei Messingstreifen ausgehen (C u. D) (12) diese Streifen sind so zusammengebogen, daß sie das Gehäuse gabelförmig umschließen. Am Ende jeder dieser Streifen befindet sich eine viereckige Öffnung (13), in die ein hakenförmiger Vorsprung hineingreift, der dadurch gebildet ist, daß die scharfe Kante des Oberteiles des Gehäuses mit zwei parallelen Einkerbungen versehen wurde, die das zwischen ihnen liegende Stück der Kante isoliert hervortreten ließen und zum Festhalten des Bügels geeignet machten. Der aus der zentralen Scheibe gebildete Teil des Bügels umschließt ein an ihn festgelötetes Messingstück, das als Schraubenmutter dient (14), sodaß das Gewinde der gegen die Schale drückenden Schraube (15) genügend Halt hat.

Um das Gehäuse so auf das Rohr (15) zu befestigen, daß in der Drehungsaxe des Spektrometers die Kante des Prismas liegt, die von den beiden einen stumpfen Winkel bildenden Flächen des Prismas gebildet wird, war jenes Rohr mit einem Gewinde versehen, auf das sich der Rohransatz des Gehäuses aufschraubte. Darauf wurde die Alhidade des Instrumentes mit allem an ihr Befestigem in geeigneter Weise auf einer Drehbank zentriert, das Gehäuse solange auf dem Rohre verstellt, bis eine äußere Marke anzeigte, daß die Kante des Prismas mit der Drehungsaxe zusammenfalle und darauf das Gehäuse auf dem Rohr festgelötet.

Endlich will ich noch einige Teile des Abbe'schen Spektrometers beschreiben, da die Kenntnis von deren Wirkungsweise zum Verständnis der Versuchungsanordnung notwendig ist.

Aus Abbildung II, die den Apparat von vorn gesehen zeigt, ersieht man, daß die Mikrometerschraube (35) gegen eine Axenklemme (41) drückt, deren Verschiebung eine Drehung des Kreises und der Axe des Spektrometers und somit der Rohre (14) und (15) und des Prismengehäuses zur Folge hat. Die Drehung wird gemessen durch die an der von der Mikrometerschraube mitgeführten Trommel, indem

man das Zusammenfallen zweier entsprechend aufeinander folgender Trommelteile mit den Index (43) beobachtet. Eine in einem Federhaus (42) eingeschlossene Spiralfeder vermittelt durch einen Stift einen beständigen gleichmäßigen Druck der Axenklemme gegen die Schraube.

Das Beobachtungsfernrohr des Zeiß'schen Spektrometers ist auch zugleich Beleuchtungsfernrohr. Das Reflexionsprisma (26) sendet die seitlich auffallenden Strahlen zum Objektiv desselben, von wo sie aus dem Fernrohr austreten, auf das Versuchsprisma auffallen, dort — je nach der Stellung des letzteren — direkt reflektiert oder, erst gebrochen und dann reflektiert werden und zum Fernrohr zurückkehren. Das Reflexionsprisma befindet sich unmittelbar vor einem Spalt, den es beleuchtet. Nach Reflexion der Strahlen am Versuchsprisma entwirft somit das Objektiv des Fernrohres in seiner Fokalebene ein Bild des Spaltes, das durch das Okular vergrößert betrachtet wird. In der Fokalebene befindet sich dicht neben dem Spalt ein Fadenkreuz, das in bekannter Weise zur Einstellung der im Gesichtsfeld erscheinenden Spaltbilder verwendet wird.

Justierung des Apparates und Beobachtungsverfahren.

Wie bei allen Messungen mit dem Abbe'schen Spektrometer war es auch im vorliegenden Falle notwendig, das Beobachtungsfernrohr senkrecht zur Axe des Spektrometers zu stellen. Ich erreichte dies dadurch, daß ich die von der planparallelen Platte (16), die das Rohr (14) abschloß, ausgehenden Reflexions-Spaltbilder zum Justieren verwendete, d. h. das Fernrohr solange durch die Schraube (6) verstellte, bis jene im Gesichtsfeld des Fernrohres erschienen. Dies Verfahren ist natürlich nur dann zulässig, wenn die Flächen der Planplatte der Drehungsaxe parallel sind. Um dies zu erreichen, wurden die Rohre (14) und (15) auf der Drehbank senkrecht zur Drehungsaxe des Spektrometers gerichtet, die Metallfassung nach dem Aufkitten auf das Glasrohr innen ausgedreht und endlich die planparallele Glasplatte sorgfältig in erstere eingekittet, sodaß ihre Flächen rechtwinklig zur

Axe der Rohre waren. Die hierbei möglichen geringen Ungenauigkeiten sind ohne Einfluß auf die Messungen, worauf auch Abbe[1]) aufmerksam macht.

Die Justierung des Prismas bestand einfach darin, dieses so zu verschieben, daß die Spaltbilder bezw. Spektrallinien dem Spalt parallel waren und in gleicher Höhe durch das Gesichtsfeld gingen. Ich befestigte daher das betreffende Prisma mittels der kleinen federnden Messingklammern auf der schrägen Fläche des Zylinders, preßte diesen und die Halbkugel durch die Schrauben fest in die Kugelschale, wobei ich beachtete, daß die direkt reflektierende Fläche des Prismas der oberen Kante der Kugelschale möglichst parallel war, verschob dann den unteren Teil des Gehäuses solange, bis die Spaltbilder in gewünschter Lage im Gesichtsfeld erschienen. Hierauf zog ich die den Bügel spannende Schraube fest an, die Schleifflächen wurden fest aufeinander gedrückt und die Justierung war beendigt. Ich öffnete dann den Hahn der Wasserluftpumpe, bis das mit dem Schlauch zu dieser verbundene Manometer den mittleren Druck von 13 mm zeigte und senkte dann das Prismengehäuse in das Gefäß mit der Abkühlungsflüssigkeit. Vorher hatte ich die beiden freien Enden des Thermoelementes, die in zwei dünnen Glasröhren steckten, in ein Gefäß mit feingestoßenem ganz reinem Eis getaucht und die beiden mit diesen Enden verlöteten Kupferdrähte, die den entstehenden Thermostrom zum Voltmeter führten, mit diesem verbunden.

Zur Temperaturmessung stand mir ein Millivoltmeter von Keiser und Schmidt und ein mit diesem von der technischen Reichsanstalt geeichtes Thermoelement aus Eisen und Constantandraht zur Verfügung. Die Skala des Voltmeters war in zehntel Millivolt geteilt und gestattete eine Schätzung von hundertel Millivolt. Ein hundertel Millivolt, also ein zehntel Skalenteil entsprach bei - 78° 0,24° C. bei - 190° 0,33° C. Ferner achtete ich darauf, daß nicht nur die Lötstellen des Thermoelementes in Eis bezw. die Abkühlungsflüssigkeit eintauchten, sondern sorgte dafür, daß

[1]) Abbe l. c. S. 19.

die Drähte des Elements auf eine Länge von mindestens 10 cm der Abkühlung ausgesetzt waren.

Ich beschränkte meine Beobachtungen auf die Temperatur des schmelzenden Eises, die sehr constante Temperatur die ein Gemisch von fester Kohlensäure und Alkohol gibt und die Temperatur der siedenden flüssigen Luft. Nach jedem einzelnen Versuch wurde durch Hinzufügen von Eis, Kohlensäure oder flüssige Luft ein Sinken der Temperatur verhindert und so eine genügende Beständigkeit derselben herbeigeführt. Ich beobachtete bei den Bemühungen die Temperatur beständig zu erhalten, daß man bei den Versuchen mit Eis vor allem Sorge tragen müsse, daß der Zwischenraum zwischen den einzelnen Eisstückchen mit Wasser ausgefüllt sei. Andererseits ist es notwendig das erwärmte sinkende Wasser zu entfernen; ich benützte dazu einen bis auf den Boden des Gefäßes reichenden Saugheber. Das von mir verwendete hohe und weite cylinderförmige Glasgefäß, in das das Prismengehäuse mitsamt dem Rohr hineintauchte, erwies sich als sehr zweckmäßig.

Die Mischung von Kohlensäure und Alkohol wurde in eine Dewarsche Flasche mit sehr weiter Öffnung gefüllt und in diese das Prismengehäuse hineingesenkt und zwar so tief, daß die Kältemischung auch noch das Messingrohr 8 bis 10 cm hoch umgab. Beim Verwenden dieser Mischung ist es notwendig derselben nicht die Beschaffenheit eines dichten Breies zu geben, da sich sonst um den abzukühlenden Metallkörper eine Schicht von luftförmiger Kohlensäure bildet, die eine weitere Abkühlung verhindert. Ich war daher bei meinen Versuchen bemüht, zwar immer Überschuß an Kohlensäure zu haben, aber die Mischung so dünnflüssig zu machen, daß die Bildung solcher Gasschichten vermieden wurde. Auch hierbei wurde von jedem Versuche Kohlensäure und Alkohol hinzugefügt.

Bei den Beobachtungen bei der Temperatur der flüssigen Luft vermied ich eine zu schnelle Verdunstung infolge der weiten Öffnung des Gefäßes durch Zudecken der Öffnung mit einem Tuch. Jedoch war es notwendig, vor jedem Versuch flüssige Luft hinzuzugießen.

Von einer sehr schnellen Abnahme der Temperatur der flüssigen Luft, die stattfinden soll, wenn letztere in offenen Gefäßen verdampft, konnte ich nichts bemerken, vielleicht deshalb nicht, weil die, jedesmal aus einer enghalsigen Dewarschen Flasche hinzugeschüttete Luft wieder solche von tieferer Temperatur war und die verhältnismäßig große Metallmasse des Prismengehäuses doch wohl stets die mittlere Temperatur der flüssigen Luft anzeigt, sodaß geringe Temperaturunterschiede in den oberen Schichten nicht zur Geltung kamen. Unterschiede in der Temperatur der flüssigen Luft bemerkte ich nur, wenn ich einmal frisch bereitete verwendete, ein andermal solche, die schon einige Tage gestanden hatte; auch hier betrug der Unterschied nur etwa 1^0 C.; für die einige Stunden dauernden jedesmaligen Beobachtungen zu einer Versuchsreihe aber zeigte das Voltmeter nur Schwankungen von etwa $^1/_{10}$ Skalenteil; vorausgesetzt natürlich, daß die flüssige Luft das Rohr immer in gleicher Höhe umgab. Die Beobachtungen bei der jeweiligen Temperatur begann ich erst etwa eine halbe Stunde nach dem Eintauchen des Gehäuses, obgleich schon nach wenigen Minuten eine nahezu beständige Ruhelage des Zeigers am Voltmeter sich einstellte. Die Aufeinanderfolge der einzelnen Verrichtungen bei den Messungen war folgende. Nachdem ich mich überzeugt hatte, daß die Abkühlungsflüssigkeit den vorhin angegebenen Bedingungen entsprach und alle sonstigen Hülfsapparate: Voltmeter, Manometer, Funkeninduktor in Ordnung waren, schaltete ich den Funkeninduktor und die Geißler'sche Röhre, in den durch einen Akkumulator gespeisten, Stromkreis und stellte dann durch Drehung des die Mikrometerschraube bewegenden Aluminiumstabes und der dadurch vermittelten Drehung des Prismas, eine im Gesichtsfeld des Fernrohres erscheinende Spektrallinie auf das Fadenkreuz ein, dann las ich durch das Ablesefernrohr die für kurze Zeit beleuchtete Dispersionstrommel ab. Hierauf erfolgte in gleicher Weise die Einstellung der übrigen Spektrallinien und des Spaltbildes wie die entsprechenden Ablesungen an der Dispersionstrommel, zum Schluß las ich dann das Galvanometer und Manometer ab und hatte damit die zur

Berechnung nötigen Data gewonnen. Während der Dauer einer solchen Versuchsreihe wurde der Apparat in keiner Weise verändert, die Mikrometerschraube zur Elimination des toten Ganges immer in derselben Richtung gedreht und das Okular des Fernrohres nicht verstellt. Für die Durchmessung einer folgenden Versuchsreihe löste ich die Axenklemme, verschob die Alhidade etwas, sodaß nach wieder erfolgter Feststellung der Alhidade für die betreffende neue Einstellung der Linien des Spektrums ein anderer Teil der Schraube verwendet wurde. Der Mittelwert wurde aus zwölf Messungen bestimmt, nur bei Steinsalz und Sylvin waren es deren acht.

Die Ausmessung des Prismenwinkels und des Winkels der Normalen erfolgt bei Zimmertemperatur mit weißem Licht, ebenfalls mit dem Abbe'schen Spektrometer, in bekannter Weise; dann wurde die eine Fläche II des Prismas versilbert bezw. mit einem Quecksilberbelag versehen und dann in eben geschilderter Weise die „Temperaturuntersuchungen" vorgenommen.

Als Lichtquelle verwendete ich eine Wasserstoffröhre, deren drei Linien sich ziemlich gleichmäßig über das sichtbare Spektrum verteilen.

Besprechung der Beobachtungsergebnisse.

In den nachstehenden Tabellen sind die Beobachtungsergebnisse in übersichtlicher Weise zusammengestellt; für ein Jenaer Glas — O. 225 — sind auch die unmittelbaren Ablesungen an der Dispersionstrommel aufgeführt und zwar in den ersten Tabellen: Jenaer Glas O. 225 I, II, III. Für alle untersuchten Substanzen sind in den „A-Tabellen" die durch die Spalten-Überschriften gekennzeichneten Werte in Trommelteilen angegeben, die Mittelwerte in Trommelteilen und Graden, Minuten und Sekunden aufgeführt. Diese Werte zeigen also die Abstände der einzelnen Spektrallinien von einander, bezw. die in der dritten Spalte den Abstand der $H\beta$-Linie vom Spaltbilde. Die mit roter Tinte am Fuße der A-Tabellen angegebenen Zahlen sind die in Sekunden aus-

gerückten „mittleren Fehler der Mittelwerte." (Siehe Kohlrausch, prakt. Phys. S. 2) $E = \pm \sqrt{\frac{S}{n\,(n-1)}}$.

Der konstante Faktor des Spektrometers, dessen Wert aus einer großen Anzahl von Beobachtungen gewonnen wurde, ist: 6 — 0,001; ein Trommelteil entspricht also [6 — 0,001] Sekunden.

Die folgenden — „B-Tabellen" enthalten die Endergebnisse der Messungen. Die erste Spalte enthält die drei beobachteten Temperaturen, die folgende die diesbezüglichen Werte der Brechungsindices und der Dispersion.

Ich habe die Differenz der Brechung für die Hα — und Hγ — Linie — [f-C] — besonders hingeschrieben, weil sich aus diesen Werten das Verhalten des ganzen beobachteten Spektralbezirkes auf den ersten Blick übersehen läßt.

In den unteren Tabellen zeigen die Werte der zweiten und dritten Spalte die Verschiebung der Spektrallinien in Minuten und Sekunden, die Werte der beiden letzten die Differenzen der Brechungsindices in den durch die Spalten-Überschriften gekennzeichneten Temperaturbereichen.

Bevor ich zur eigentlichen Besprechung der Endergebnisse übergehe, sei die Bestimmung der Genauigkeitsgrenzen hier eingeschaltet:

In erster Linie beeinflußte die geringe Intensität der Spektrallinien die Genauigkeit. Dies lag besonders an der durch die ganze Versuchsanordnung bedingten verhältnismäßig großen Entfernung der Lichtquelle vom Prisma; außerdem wurde durch die Linsen des Beleuchtungsapparates und durch die planparallele Platte noch Licht absorbiert. Ich war daher gezwungen, den Spalt ziemlich breit zu machen und einen ziemlich starken Glasfaden zum Fadenkreuz zu verwenden. Versuche mit Coconfäden und schmalem Spalt mißlangen, da ich bei der geringen Intensität der Beleuchtung erstere nicht wahrnehmen konnte.

Außerdem trat bei längerer Benutzung einer Wasserstoffröhre eine merkliche Schwächung der Hγ-Linie ein, und verursachte eine ungleiche Genauigkeit der Einstellungen auf die Hγ-Linie bei den einzelnen Versuchsreihen.

Diese Beobachtung hat auch Wüllner [1]) gemacht und bei seinen Erörterungen zur Bestimmung der Genauigkeit seiner Messungen erwähnt. Hier anschließend bemerke ich, daß die von Wüllner l. c. erwähnten Genauigkeitsuntersuchungen ohne Zweifel ein zu günstiges Resultat lieferten; denn er stellte zur Ermittelung der Genauigkeit der Einstellung mehrere Male auf dieselbe Wasserstofflinie ein. Nun ist es aber viel leichter, bei in kurzen Zwischenräumen erfolgenden Einstellungen auf die gleiche Linie Werte zu erhalten, die sich nur wenig von einander unterscheiden, als bei Einstellung auf Linien ungleicher Farbe und in durch Messungen unterbrochenen längeren Zwischenräumen, da in ersterem Falle die subjektiven Fehler viel geringer sind.

Besonders einflußreich auf die Genauigkeit war diese Schwächung der Hγ-Linie bei den Prismen mit unvollkommenen Flächen, wie Steinsalz und Sylvin, deren Flächen während der Beobachtungen matt wurden und beim Kalkspat, der durch Versilberung der einen Fläche etwas gelitten hatte.

Die Hα-Linie im roten Teile des Spektrums war zwar sehr lichtstark, aber die Ränder derselben erschienen häufig verwaschen durch das nie ganz fehlende kontinuierliche Spektrum, das neben den drei Linien auftrat. Am schärfsten war die grüne Hβ-Linie sichtbar. Dies veranlaßte mich auch, die Hβ-Linie zum Ausgangspunkt der unmittelbaren Bestimmung des Brechungsindexes nach Formel I zu wählen.

Die Fehler setzen sich zusammen aus den Beobachtungsfehlern, die in den „A-Tabellen“ in Rechnung gezogen sind, aus den Fehlern der Temperatur- und Luftdruckwerte, und für die Indexbestimmungen der „B-Tabellen“, die beim Messen der Einfallswinkel und des Winkels der Normalen gemachten Fehler.

Diese letzteren betragen bei den beiden Jenaer Gläsern und Quarz etwa eine Einheit, bei den übrigen Substanzen $\pm$ zwei Einheiten der fünften Dezimale. Ein mittlerer Fehler des Mittelwertes von $\pm$ 1″ entspricht im Durchschnitt einer Ungenauigkeit von 0,6 Einheiten der fünften Dezimale bei den untersuchten Substanzen. Die bei den Temperaturan-

[1]) Wüllner: Pogg. Anm. CXXXIII. S. 12/13.

gaben gemachten Fehler haben verhältnismäßig großen Einfluß auf die Messungen, da ein Fehler von ± 0,01 Millivolt bei der Ablesung des Voltmeters, bereits einen Fehler von 0,24″ bei − 78°, und von 0,33″ bei − 190° bewirkt. Unter der Voraussetzung, daß das von der Ph. T. Reichsanstalt geeichte Voltmeter richtige Werte ergeben hat, ist der durch Temperaturangaben verursachte wahrscheinliche Fehler etwa 0,3 Einheiten der fünften Dezimale des Indexes bei − 78 und 0,4 Einheiten bei — 190°.

Für die Messungen bei 0° kommen diese Fehler nicht in Betracht, da bei der Versuchsanordnung eine Temperatur des Prismas von sehr nahe 0° unbedenklich angenommen werden kann. Diese Fehler verdoppeln sich aber durch Temperaturschwankungen während der Beobachtung. Wenn sie auch nie den Wert von ± 0,24 bezw. ± 0,33 überschritten, und nicht immer bemerkt wurden, so sollen sie doch hier in Rechnung gezogen werden.

Der Einfluß der Luftdruckschwankungen auf das Resultat ist für ± 1 mm bei 0 und − 78° unmerklich und beträgt bei − 190° zwei Einheiten der fünften Dezimale. Bemißt man die bei allen untersuchten Substanzen in gleicher Größe wiederkehrenden Fehler der Temperatur und Luftdruckwerte, sowie, für die Brechungsindices, die bei dem Messen der Einfalls- und Normalen-Winkel entstandenen, sehr reichlich, so kann man als Fehlermaximum für Jenaer Gläser und Quarz 3 Einheiten der fünften Dezimale, für Steinsalz, Sylvin und Kalkspat 5 Einheiten annehmen. Hierbei sind also noch nicht die Fehler, die als mittlere Fehler der Mittelwerte am Fuße der „A-Tabellen" stehen und die bei Bildung des Gesamt-Fehlermaximums zu den obigen addiert werden. Offenbar kommt jedoch für die Diskussion der „A-Tabellen", also für die Frage, ob die Dispersion stets abnimmt, das obige Fehlermaximum gar nicht in Frage; denn die Fehler der Einfallswinkel-Messungen fallen ganz heraus, die geringen Temperaturschwankungen kommen bei den großen Temperatur-Intervallen nicht in Betracht und die Luftdruckschwankungen beeinflussen erst bei einem Betrage von ± 3 mm das Resultat um 1″.

Betrachtet man unter Berücksichtigung dieser Ausführungen die Tabellen der Messungen an Jenaer Glas O. 225, so erkennt man aus der „B-Tabelle“ zwar eine stetige Zunahme der Brechungsexponenten bei abnehmender Temperatur, aber keine ausgesprochene Abnahme der Dispersion. Zwar zeigt die Spalte f -C eine Abnahme der Gesamtdispersion um etwa 3 Einheiten der fünten Dezimale, aber diese Differenz liegt innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler. Das Gleiche ergibt die „B-Tabelle“, wenn man die (H_β-H_γ)-Spalten und die (H_β-H_α)-Spalten bei den drei Temperaturen vergleicht. Eine Abnahme der Dispersion ist hier also nicht mit Sicherheit nachweisbar.

Das zweite Jenaer Glas S. 164 hingegen zeigt eine ausgeprägte Zunahme der Brechungsexponenten und eine unzweifelhafte Abnahme der Dispersion bei abnehmender Temperatur.

Bei beiden Gläsern sind die Beobachtungsfehler gering.

Der ordentliche Strahl im Quarz zeigt zunächst eine Zunahme der Brechung bei abnehmender Temperatur. Der Dispersionsbereich $H\gamma$-$H\beta$ nimmt zwar etwas zu im Sinne abnehmender Temperatur, jedoch sind die Beobachtungsfehler so groß, daß dies Ergebnis ohne Bedeutung ist, umsomehr als der (H_β-H_α)-Bereich um ein geringes abnimmt und der Gesamtbezirk sich überhaupt nicht nennenswert verändert. Auch hier lieferte die Untersuchung keine Entscheidung bezüglich Pulfrich'scher Sätze.

Dahingegen zeigt der außerordentliche Strahl im Quarz eine zwar geringe, aber deutliche Abnahme der Dispersion, bei Zunahme der Brechung und geringen Fehlern.

Sylvin zeigt eine eindeutige Abnahme der Dispersion, die zwar scheinbar unregelmäßig ist, aber deutlich, sowohl in den einzelnen Spektralbezirken wie bezgl. der Gesamt-Dispersion die obenerwähnte Tendenz hat. Die Unregelmäßigkeit kann man unbedenklich dem Einfluß der verhältnismäßig großen Beobachtungsfehler zuschreiben, die in dem Mattwerden der Prismenflächen ihre Erklärung finden. Der Brechungsindex nimmt regelmäßig zu.

Kalkspat, ordentlicher Strahl zeigt regelmäßige Zunahme des Brechungsindexes und geringe aber deutliche Abnahme der Dispersion bei verhältnismäßig geringen Fehlern. Das Gleiche gilt vom außerordentlichen Strahl, nur mit dem Unterschiede, daß die Zunahme der Brechung (bei abnehmender Temperatur) erheblich größer als beim ordentlichen Strahle ist.

Bei Steinsalz fällt vor allem die am besten aus der A-Tabelle zu ersehende Unregelmäßigkeit des Verlaufes der Dispersionsveränderungen auf. Der ($H\gamma$-$H\beta$)-Bereich nimmt bei großen Beobachtungsfehlern etwas zu mit abnehmender Temperatur, während der ($H\beta$-$H\alpha$) und der Gesamtbereich eine über die Grenzen der Beobachtungsfehler reichende Abnahme zeigen.

Überblickt man die vorliegenden Ergebnisse, so ergibt sich, daß für Jenaer Glas O. 225, für den ordentlichen Strahl im Quarz und für Steinsalz kein entscheidendes Ergebnis bezgl. der Pulfrich'schen Sätze erzielt worden ist, daß diese jedoch für die anderen untersuchten Substanzen gelten. Erwägt man jedoch, daß in den Fällen, wo sich die Substanzen nicht entsprechend den Pulfrich'schen Sätzen veränderten, die Beobachtungsfehler verhältnismäßig so groß waren, daß sie überhaupt die Tendenz der Veränderung verschleierten, so läßt sich auch daraus nichts gegen Pulfrich'schen Anschauungen Sprechendes entnehmen, sondern, es bleibt eine große Wahrscheinlichkeit für die letzteren.

Herrn Geheimrat Röntgen sage ich herzlichsten Dank für die Förderung dieser Arbeit und deren nachsichtige Beurteilung, Herrn Dr. Pulfrich und der Geschäftsleitung der Firma Carl Zeiß besten Dank für die freundliche Überlassung von Prismen und Apparaten.

Jenaer Glas O. 225.

I a

Temp.	H_γ	H_β	H_α	Spaltbild	Druck
					mm
0	880,9	713,8	417,7	371,7	13
0	1236,6	1068,7	773,1	727,2	13
0	1133,5	965,7	670,4	624,4	13
0	1248,5	1081,6	785,9	740,1	13
0	1185,5	1018,9	723,3	676,3	12,5
0	1049,4	881,6	586,4	540,3	12,5
0	1000,6	833,3	538,0	490,8	12,5
0	875,3	707,7	412,4	365,9	13
0	792,5	625,5	330,4	283,7	13
0	1272,3	1104,7	808,6	762,7	13
0	1169,6	1002,2	706,3	660,5	13
0	1006,3	838,9	543,2	496,7	13

Jenaer Glas O. 225.

II a

Temp.	H_γ	H_β	H_α	Spaltbild	Druck
					mm
3,56	1007,3	840,6	545,1	489,4	13,5
3,56	935,9	767,8	472,3	417,8	13,5
3,56	852,4	684,6	388,9	334,3	13,5
3,56	758,4	590,8	294,4	239,8	13,5
3,56	946,9	779,0	483,0	427,7	13,5
3,56	824,2	656,8	360,3	305,5	13,5
3,56	1179,4	1011,9	716,7	661,1	13
3,55	1026,4	859,6	563,5	509,2	13
3,55	952,6	785,3	488,9	435,3	13
3,55	788,4	621,5	326,0	270,2	13
3,56	1041,3	874,3	578,2	523,2	13
3,55	979,3	811,8	517,2	461,8	13

Jenaer Glas O. 225.

III a

Temp.	H_γ	H_β	H_α	Spaltbild	Druck
					mm
7,24	989,1	821,4	525,6	454,4	13
7,24	1185,0	1018,4	723,7	652,9	13
7,24	1092,3	826,6	630,9	559,9	13
7,24	906,0	739,0	444,5	373,1	12,5
7,25	800,5	634,1	338,4	266,3	12,5
7,24	1312,7	1145,9	852,9	789,7	13
7,25	1131,9	965,5	669,8	598,3	13
7,25	1054,0	886,8	591,9	520,7	13
7,24	967,9	800,9	505,1	434,2	13
7,24	816,4	649,4	354,0	282,1	13
7,24	1035,0	868,0	572,2	500,9	13
7,24	922,2	755,4	460,3	389,4	13

Jenaer Glas O. 225. A.

I b
0°

H_β	H_γ	H_δ	H_α	Sp	H_β
167,1		296,1		342,1	
167,9		295,6		341,5	
167,8		295,3		341,3	
167,2		295,7		341,5	
166,6		295,6		342,6	
167,8		295,2		341,3	
167,3		295,3		342,5	
167,6		295,3		341,8	
167,0		295,1		341,8	
167,6		296,1		342,0	
167,4		295,9		341,7	
167,4		295,7		342,2	
167,39		295,58		341,86	
16′ 44,2″		29′ 33,2″		34′ 10,8″	
+ 0,66″		0,54″		0,75″	

II b
— 78,6°

H_β	H_γ	H_δ	H_α	Sp	H_β
166,7		295,5		351,2	
168,1		295,5		350,0	
167,8		295,7		350,3	
167,6		296,4		351,0	
167,9		296,0		351,3	
167,4		296,5		351,3	
167,5		295,2		350,8	
166,8		296,1		350,4	
167,3		296,4		350,0	
166,9		295,5		351,3	
167,0		296,1		351,1	
167,5		294,6		350,0	
167,38		295,75		350,73	
16′ 44,1″		29′ 34,4″		35′ 4,03″	
+ 0,78″		0,83″		0,88″	

III b
— 190,5°

H_δ	H_γ	H_δ	H_α	Sp	H_δ
167,7		295,8		367,0	
166,2		295,1		365,9	
165,7		295,7		366,7	
167,0		294,5		365,9	
166,4		295,7		367,8	
166,8		293,0		366,2	
166,4		295,7		367,2	
167,2		294,9		366,1	
167,0		295,8		366,7	
167,0		295,4		367,3	
167,0		295,8		367,1	
166,8		295,1		366,0	
166,77		295,21		366,66	
16′ 40,45″		29′ 30,97″		36′ 39,6″	
+ 0,91″		1,42″		1,10″	

Jenaer Glas. O. 225. B.

Das Spaltbild links von der H_α-Linie.
Brechender Winkel = 35° 2′ 20″
Einfallswinkel von H_β bei 0° = 60° 52′ 20,1″
Winkel der Normalen = 60° 18′ 19″
Luftdruck = 13 mm.

Brechungsindices und Dispersion auf den leeren Raum bezogen.

Temp.	N_C	N_F	N_f	F-C	f-F	f-C
0°	1,51420	1,52154	1,52565	0,0073439	0,0041092	0,0114531
−78,6	1,51440	1,52176	1,52587	0,0073476	0,0041078	0,0114554
−190,5	1,51481	1,52217	1,52626	0,0073300	0,0040915	0,0114215

Änderung der Brechungsindices bei fallender Temperatur

Linie	Verschiebung 0° — -78°	Verschiebung -78° — -190°	$N_{78} - N_0$	$N_{190} - N_{78}$
C	0′ 54,4″	1′ 28,5″	0,0002049	0,0004103
F	0′ 53,2″	1′ 35,6″	0,0002186	0,0004127
f	0′ 53,1″	1′ 32,0″	0,0002172	0,0003964

Jenaer Glas. S. 164. A.

0^0

H_γ	$H_{\gamma'}$	H_γ	H_α	H_β	Sp
532,4		801,5		293,1	
531,7		802,2		293,3	
531,2		802,0		293,9	
531,7		801,3		293,1	
531,5		801,8		292,8	
531,8		801,8		293,0	
531,8		801,6		293,4	
532,2		802,2		293,1	
531,9		801,6		293,4	
532,1		801,5		292,9	
532,5		802,3		293,4	
531,9		801,8		293,22	
53′ 10,9″		1°20′10,6″		29′ 19,0″	
± 0,69″		0,82″		0,69″	

$-78{,}1^0$

H_γ	$H_{\gamma'}$	H_γ	H_α	H_β	Sp
525,0		790,5		268,8	
525,1		793,4		271,8	
525,6		792,8		271,9	
526,3		793,1		271,5	
525,1		793,3		272,3	
525,8		791,3		270,1	
525,3		793,7		271,2	
526,4		792,2		271,3	
526,9		792,5		271,3	
526,5		792,8		270,5	
526,2		793,0		271,4	
526,6		793,2		271,8	
525,9		792,65		271,16	
52′ 34,9″		1°19′15,1″		27′ 6,6″	
+ 1,03″		1,61″		1,75″	

$-190{,}5^0$

H_γ	$H_{\gamma'}$	H_γ	H_α	H_β	Sp
516,3		785,4		253,1	
516,6		784,0		252,5	
516,8		782,7		251,9	
516,2		783,6		252,0	
516,3		783,6		252,8	
516,4		784,0		253,7	
515,9		784,0		251,3	
515,9		783,0		252,1	
515,3		783,6		252,8	
516,0		784,4		253,3	
516,0		784,8		253,5	
516,2		783,8		252,64	
51′ 36,7″		1° 18′ 22″		25′ 15,6″	
+ 0,74″		1,30″		1,36″	

Jenaer Glas. S. 164. B.

Das Spaltbild lag zwischen der Hα- und Hβ-Linie.
Brechender Winkel = 22° 59′ 55″
Einfallswinkel von Hβ bei 0° = 48° 37′ 49″
Winkel der Normalen = 48° 8′ 30″
Luftdruck = 13 mm

Brechungsindices und Dispersion auf den leeren Raum bezogen.

Temp.	N_C	N_F	N_f	F-C	f-F	f-C
0°	1,88085	1,92078	1,94671	0,0399219	0,0259370	0,658589
—78,1	1,88235	1,92186	1,94752	0,039515	0,0256564	0,651714
—190,5	1,89191	1,93099	1,95620	0,0390799	0,0251951	0,642750

Änderung der Brechungsindices bei fallender Temperatur.

Linie	Verschiebung 0°— -78°	-78— -190°	N_{78} -N_0	N_{190} -N_{78}
C	0′ 40,9″	0′ -0,3″	0,0014934	0,0095643
F	2′ 12,4″	1′ 51,0″	0,0010862	0,0091292
f	1′ 36,4″	0′ 52,8″	0,0008058	0,0086777

Quarz, ordentlicher Strahl. A.

0°

H_γ	H_β	H_β	H_α	Sp H_γ
117,4		210,9		11,6
116,2		210,8		11,4
115,1		210,5		10,1
117,0		210,1		9,8
114,3		211,4		9,8
115,9		210,6		9,5
112,2		211,8		10,1
116,8		210,3		10,4
116,4		210,5		9,2
116,6		210,4		10,5
116,4		209,7		9,8
113,0		210,4		10,0
115,53		210,62		10,18
11′ 33,06″		21′ 3,5″		1′ 1″
+ 2,89″		0,97″		1,23″

— 77,9

H_γ	H_β	H_β	H_α	Sp–H_β
120,2		210,7		20,0
116,4		210,7		21,1
117,1		209,1		21,0
117,9		211,2		21,2
113,6		209,4		20,7
117,0		210,4		21,3
116,0		210,7		20,4
116,5		209,9		21,1
115,7		209,9		20,5
121,6		210,6		23,3
116,2		212,1		20,6
117,7		210,1		19,7
117,14		210,4		20,91
11′ 42,7″		21′ 2,2″		2′ 5,43″
+ 3,65″		1,31″		1,21″

— 190,3′

H_γ	H_β	H_β	H_α	Sp H_γ
119,7		209,2		36,9
117,9		210,1		36,9
119,1		209,1		37,4
121,9		209,4		37,2
113,2		208,5		37,8
122,1		209,6		37,7
120,2		209,6		37,8
119,9		209,5		37,1
119,6		210,4		39,3
113,3		209,8		38,5
122,7		209,5		37,6
120,3		209,6		37,4
118,32		209,53		37,63
11′ 49,8″		20′ 57″		3′ 45,7″
+ 6,37″		0,83″		1,09″

Quarz, ordentlicher Strahl. B.

Spaltbild zwischen Hα und Hβ des ordentlichen Strahles
Brechender Winkel = 30° 00′ 28″
Einfallswinkel von Hβ bei 0° = 50° 48′ 55″
Winkel der Normalen = 50° 49′ 56″
Luftdruck = 13 mm

Brechungsindices und Dispersion auf den leeren Raum bezogen.

Temp.	N_C	N_F	N_f	F-C	f-F	f-C
0°	1,54198	1,54975	1,55399	0,0077692	0,0042369	0,0120061
—77,9	1,54238	1,55014	1,55444	0,0077592	0,0042946	0,0120538
—190,3	1,54305	1,55078	1,55512	0,0077248	0,0043376	0,0120624

Änderung der Brechungsindices bei fallender Temperatur.

Linie	Verschiebung 0 — -78°	-78° — -190°	N_{78}-N_0	N_{190}-N_{78}
C	1′ 12,7″	1′ 42,2″	0,0004044	0,0006685
F	1′ 4,4″	1′ 40,3″	0,0003944	0,0006341
f	1′ 14,0″	1′ 47,4″	0,0004521	0,0006771

Quarz, außerordentlicher Strahl. A.

0°

H_γ	H_δ	H_ε	H_α	Sp	H_β
122,9		219,8		266,8	
122,7		219,7		266,1	
122,3		220,2		265,2	
123,4		219,2		263,7	
122,9		220,4		265,3	
123,5		220,7		263,9	
122,9		219,4		264,7	
122,8		219,8		264,8	
123,4		219,2		266,4	
122,6		219,9		265,2	
122,0		219,9		264,9	
122,2		220,2		264,6	
122,8		219,86		265,13	
12′ 16,68″		21′ 58,9″		26′ 30,5″	
+ 0,83″		0,80″		1,64″	

— 78°

$H_\gamma - H_\beta$	$H_\beta - H_\alpha$	Sp $- H_\beta$
121,5	220,1	278,3
122,1	219,6	277,2
122,4	220,8	278,7
122,2	219,5	278,9
123,5	219,9	278,9
121,8	219,1	277,2
122,1	219,3	279,3
120,7	219,8	278,8
121,3	218,8	278,1
121,3	220,0	278,4
120,7	221,4	279,3
121,5	220,1	278,8
121,76	219,87	278,49
12′ 10,43″	21′ 59″	27′ 50,66″
+ 1,23″	1,24″	1,21″

— 190°

H_γ	H_β	$H_\varepsilon - H_\alpha$	Sp $- H_\beta$
120,0		217,9	295,2
122,1		219,1	297,1
120,8		216,8	294,7
121,1		219,1	298,1
122,4		218,5	296,9
121,7		218,5	296,8
121,7		218,5	297,5
121,7		218,5	296,8
121,5		218,7	299,0
121,8		219,0	298,5
121,0		218,1	296,5
122,1		218,3	296,4
121,49		218,42	296,96
12′ 8,82″		21′ 50,3″	29′ 41,5″
+ 1,10″		1,10″	2,33″

Quarz, außerordentlicher Strahl. B.

Spaltbild zwischen $H\alpha$ und $H\beta$ des ordentlichen Strahles.
Brechender Winkel = 30° 00′ 28″
Einfallswinkel von $H\beta$ bei 0° = 51° 16′ 9,5″
Winkel der Normalen = 50° 49′ 36″
Luftdruck = 13 mm

Brechungsindices und Dispersion auf den leeren Raum bezogen.

Temp.	N_C	N_F	N_f	F-C	f-F	f-C
0°	1,55178	1,55982	1,56427	0,0080313	0,0044583	0.0124896
— 78	1,55227	1,56030	1,56473	0,0080299	0,0044192	0,0124491
— 190	1,55302	1,56100	1,56541	0,0079741	0,0044082	0,0123823

Änderung der Brechungsindices bei fallender Temperatur.

Linie	Verschiebung 0 — -78°	-78 — -190°	$N_{78} - N_0$	$N_{190} - N_{78}$
C	1′ 14,0″	1′ 41,1″	0,0004877	0,0007511
F	1′ 20,2″	1′ 51,4″	0,0004863	0,0006953
f	1′ 13,9″	1′ 49,8″	0,0004552	0,0005763

Sylvin. A.

0°

H_γ	H_β	H_β	H_α	Sp	H_β
166,2	263,7			64,7	
164,2	264,6			63,4	
166,5	263,7			64,8	
168,5	265,2			65,8	
166,3	264,3			64,4	
166,1	264,1			64,3	
165,7	265,2			62,6	
166,9	264,5			65,4	
168,3	264,8			66,4	
166,0	263,8			64,3	
167,2	263,8			65,5	
166,54	264,33			64,69	
16′ 39,07″	26′ 25,7″			6′ 28,0″	
+ 2,09″	1,03″			1,96″	

— 78,1°

H_γ	H_β	H_β	H_α	Sp	H_β
160,9	266,8			3,2	
161,4	263,2			2,2	
160,6	264,2			3,8	
160,0	264,5			3,1	
160,2	265,0			3,7	
158,4	266,0			3,1	
162,0	265,1			1,8	
160,9	265,0			3,1	
159,9	264,1			3,1	
161,2	264,3			3,1	
160,6	265,6			2,7	
159,2	266,2			3,6	
160,44	265,0			3,04	
16′ 2,48″	26′ 29,7″			18,2″	
+ 1,70″	1,79″			1,09″	

— 190,5°

H_γ	H_β	H_β	H_α	Sp	H_β
159,0	264,0			74,7	
159,0	262,9			74,1	
157,9	262,5			73,9	
160,0	260,4			73,9	
160,2	262,3			73,2	
157,7	262,2			73,1	
160,2	262,3			73,3	
160,4	262,8			73,4	
161,1	261,4			72,9	
160,9	261,4			73,1	
161,0	263,2			73,3	
159,76	262,31			73,63	
15′ 58,4″	26′ 13,6″			7′ 21,0″	
+ 2,10″	1,76″			1,00″	

Sylvin, B.

Das Spaltbild befand sich bei 0° zwischen $H\beta$ und $H\gamma$, bei — 78,1° und — 190,5° zwischen der $H\alpha$ und $H\beta$ Linie.

Brechender Winkel = 28° 4′ 1″

Einfallswinkel von $H\beta$ bei 0° = 46° 2′ 50″

Winkel der Normalen = 46° 9′ 19″

Luftdruck = 13 mm

Brechungsindices und Dispersion auf den leeren Raum bezogen.

Temp.	N_C	N_F	N_f	F-C	C-F	f-C
0°	1,48876	1,49992	1,50691	0,0111609	0,0069897	0,0181506
—78,1	1,49159	1,50276	1,50965	0,0111778	0,0068811	0,0180589
—190,5	1,49487	1,50592	1,51261	0,0110524	0,0066887	0,0177411

Änderung der Brechungsindices mit fallender Temperatur.

Linie	Verschiebung 0 -- -78	Verschiebung -78 -- -190	$N_{-78} - N_0$	$N_{-190} - N_{-78}$
C	6′ 48,4″	5′ 42,6″	0,0028278	0,0032796
F	6′ 46,2″	7′ 2,8″	0,0028448	0,0031542
f	6′ 44,4″	5′ 58,7″	0,0027362	0,0029618

Kalkspat, ordentlicher Strahl. A.

0^0

$H_\gamma - H_\beta$	$H_\beta - H_\alpha$	$H_\beta - Sp$
202,6	347,0	2193,9
203,7	344,8	2191,4
203,6	349,4	2194,4
203,2	349,2	2192,4
203,4	350,6	2196,0
204,9	349,3	2194,1
203,7	349,3	2193,7
203,9	348,6	2194,6
204,7	349,2	2194,7
204,8	349,3	2193,4
204,0	349,4	2194,1
203,86	348,73	2193,88
20′ 23″	34′ 52″	3°39′21,1″
± 1,28″	2,83″	2,20″

$-77{,}6^0$

$H_\gamma - H_\beta$	$H_\beta - H_\alpha$	$H_\beta - Sp$
202,6	347,6	2191,6
202,7	347,7	2192,1
202,5	347,4	2190,7
202,3	347,7	2191,9
201,6	347,6	2192,1
203,8	347,6	2191,2
203,1	347,6	2191,7
202,5	348,2	2192,0
202,7	347,6	2192,1
203,5	346,9	2193,3
202,6	346,7	2191,1
202,0	347,2	2191,2
202,66	347,48	2191,75
20′ 15,8″	34′ 44,4″	3° 39′ 8,3″
0,89″	0,71″	1,17″

$-189{,}8^0$

H_γ	H_β	H_β	H_α	H_β	Sp
200,6		347,2		2186,3	
201,3		347,0		2185,0	
200,7		347,3		2184,7	
201,7		347,1		2186,4	
201,7		346,7		2185,8	
201,8		347,0		2185,6	
201,3		346,7		2184,8	
201,0		347,8		2186,8	
201,4		347,2		2186,3	
201,4		346,7		2185,8	
201,7		347,3		2186,5	
201,5		346,8		2185,8	
201,34		347,07		2185,83	
20′ 7,8″		34′ 42,1″		3°38′32,8″	
± 0,67″		0,73″		1,19″	

Kalkspat, ordentlicher Strahl. B.

Spaltbild links von der Hα-Linie
Brechender Winkel = 28° 2′ 54″
Winkel der Normalen = 48° 2′ 22″
Einfallswinkel von Hβ bei 0° = 51° 41′ 45″
Luftdruck 13 mm

Brechungsindices und Dispersion auf den leeren Raum bezogen.

Temp.	N_C	N_F	N_f	F-C	f-F	f-C
0°	1,65538	1,66887	1,67666	0,0134861	0,0077866	0,0212727
−77,6	1,65554	1,66895	1,67669	0,0134126	0,0077412	0,0211538
189,8	1,65580	1,66920	1,67689	0,0133992	0,0076913	0,0210905

Änderungen der Brechungsindices bei fallender Temperatur.

Linie	Verschiebung 0° — -78°	Verschiebung -78° — 190°	$N_{78} - N_0$	$N_{190} - N_{78}$
C	0′ 2,0″	0′ 25,2″	0,0001553	0,0002603
F	0′ 12,8″	0′ 35,5″	0,0000818	0,0002469
f	0′ 5,6″	0′ 27,5″	0,0000364	0,0001970

Kalkspat, außerordentlicher Strahl. A.

0^0

$H_\gamma - H_\beta$	$H_\beta - H_\alpha$	$Sp - H_\beta$
82,8	142,1	2112,6
84,7	141,1	2115,4
82,9	142,7	2113,7
81,4	142,1	2112,3
83,0	142,2	2113,0
82,8	141,9	2114,6
83,9	141,6	2114,0
84,6	142,1	2114,1
85,7	141,0	2114,9
82,8	140,2	2113,8
82,2	143,4	2113,1
83,9		2115,1
83,39	141,85	2113,88
8′ 20,25″	14′ 10,96″	3°31′21,2″
± 2,18″	1,57″	1,75″

$-77{,}6^0$

$H_\gamma - H_\beta$	$H_\beta - H_\alpha$	$Sp - H_\beta$
82,0	139,1	2133,1
81,4	140,9	2132,3
82,6	140,6	2132,5
82,3	139,7	2132,5
80,5	141,2	2132,2
83,3	140,3	2132,6
83,2	140,5	2133,2
81,9	140,0	2133,2
81,0	139,8	2133,0
82,5	139,0	2133,1
83,0	138,4	2133,7
81,9	140,7	2131,7
82,13	140,02	2132,76
8′ 12,7″	14′ 0″	3°33′14,4″
± 0,89″	1,47″	1,07″

$-189{,}8^0$

$H_\gamma - H_\beta$	$H_\beta - H_\alpha$	$Sp - H_\beta$
80,9	140,0	2160,5
81,8	139,5	2159,8
80,3	140,1	2158,4
80,8	139,8	2159,4
81,8	139,1	2160,0
79,8	140,1	2159,6
81,2	140,7	2159,0
80,6	139,0	2159,0
80,9	138,2	2160,3
80,6	139,5	2159,6
80,7	140,3	2158,4
81,5	138,4	2160,3
80,91	139,56	2159,52
8′ 5,4″	13′ 57,2″	3° 35′ 55″
± 1,00″	1,40″	1,27″

Kalkspat, außerordentlicher Strahl. B.

Spaltbild rechts von der $H\gamma$-Linie.
Brechender Winkel = 28° 2′ 54″
Einfallswinkel von $H\beta$ bei 0° = 44° 31′ 8″
Winkel der Normalen = 48° 2′ 22″
Luftdruck = 13 mm

Brechungsindices und Dispersion auf den leeren Raum bezogen.

Temp.	N_C	N_F	N_f	F-C	f-F	f-C
0°	1,48485	1,49112	1,49479	0,0062990	0,0036736	0,0099726
—77,6	1,48576	1,49195	1,49557	0,0061901	0,0036189	0,0098090
—189,8°	1,48698	1,49315	1,49672	0,0061712	0,0035668	0,0097380

Änderung der Brechungsindices mit fallender Temperatur.

Linie	Verschiebung 0^0 — -78^0	Verschiebung -78^0 — -190^0	$N_{78} - N_0$	$N_{190} - N_{78}$
C	1′ 34,6″	2′ 30,5″	0,0009113	0,0012204
F	1′ 53,2″	2′ 40,6	0,0008324	0,0012015
f	1′ 45,6″	2′ 33,3″	0,0007777	0,0011494

Steinsalz, A.

0°

$H_\gamma - H_\beta$	$H_\beta - H_\alpha$	Sp H_β
147,6	247,1	1068,1
150,4	246,1	1067,5
135,7	255,9	1067,6
146,6	246,2	1068,0
148,2	247,0	1067,3
147,6	249,2	1066,9
143,0	246,1	1067,2
148,1	242,4	1068,2
145,4	247,5	1067,6
14′ 35,3″	24′ 44,8″	1°46′ 44,5″
± 9,86″	4,65″	0,98″

78,4°

$H_\gamma - H_\beta$	$H_\beta - H_\alpha$	Sp $- H_\beta$
145,4	241,4	1018,2
147,8	241,4	1019,0
145,9	242,1	1016,3
146,7	240,5	1017,5
147,5	240,8	1020,8
146,2	241,3	1016,5
143,4	240,9	1015,9
147,5	241,7	1018,5
146,3	241,26	1017,84
14′ 37,7″	24′ 7,3″	1° 41′ 46,02″
± 3,08″	1,09″	3,47″

— 188,5°.

$H_\gamma - H_\beta$	$H_\beta - H_\alpha$	Sp H_β
148,5	239,4	959,5
146,4	239,6	957,9
145,9	240,0	960,7
144,7	239,6	960,8
147,2	239,8	960,3
147,1	239,0	959,2
149,2	238,5	961,8
146,6	239,8	959,8
146,95	239,46	960,0
14′ 41,6″	23′ 56,5″	1°35′ 59″
± 3,00″	1,04	1,56″

Steinsalz, B.

Spaltbild rechts von der $H\gamma$-Linie
Brechender Winkel = 24° 54′ 37″
Einfallswinkel von $H\beta$ bei 0° = 40° 53′ 57,4″
Winkel der Normalen = 42° 40′ 42″
Luftdruck = 13 mm

Brechungsindices und Dispersion auf den leeren Raum bezogen.

Temp.	N_C	N_F	N_f	F-C	f-F	f-F
0°	1,54150	1,55446	1,56206	0,0129582	0,0076013	0,0205595
—78,4	1,54443	1,55705	1,56467	0,0126221	0,0076173	0,0202394
188,5	1,54757	1,56009	1,56773	0,0125185	0,0076454	0,0201639

Änderung der Brechungsindices mit fallender Temperatur.

Linie	Verschiebung 0 — -78°	-78° — -190°	$N_{78} - N_0$	$N_{190} - N_{78}$
C	4′ 23,4″	5′ 40,1″	0,0029315	0,0031385
F	4′ 58,5″	5′ 47,0″	0,0025954	0,0030349
f	5′ 0,9″	5′ 50,9″	0,0026114	0,0030630

Abbildung I.

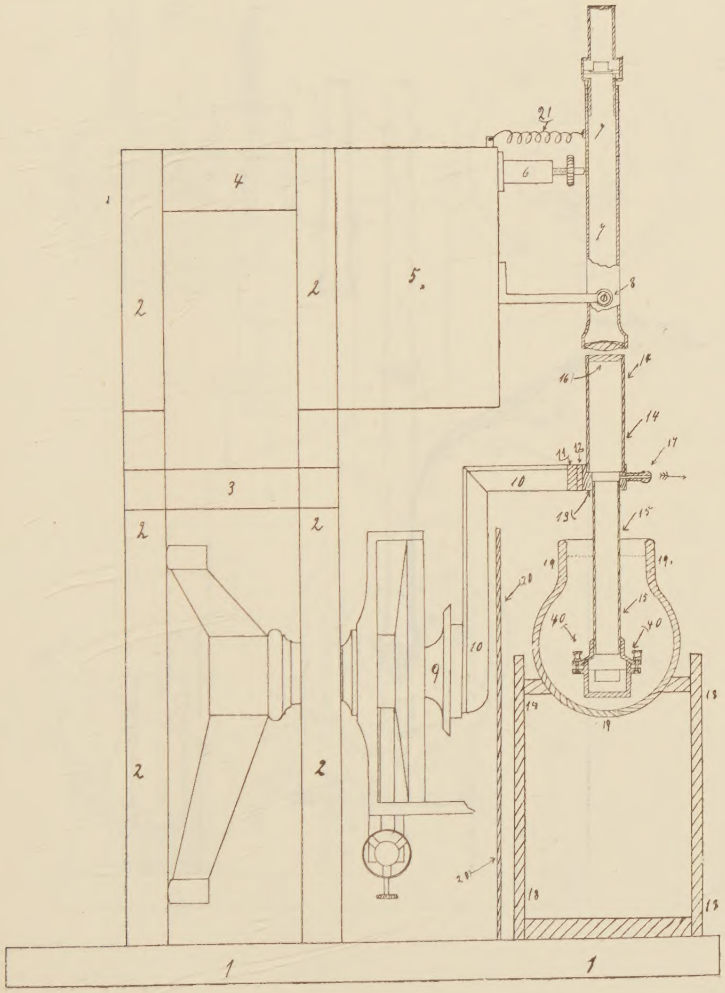


Abbildung II.

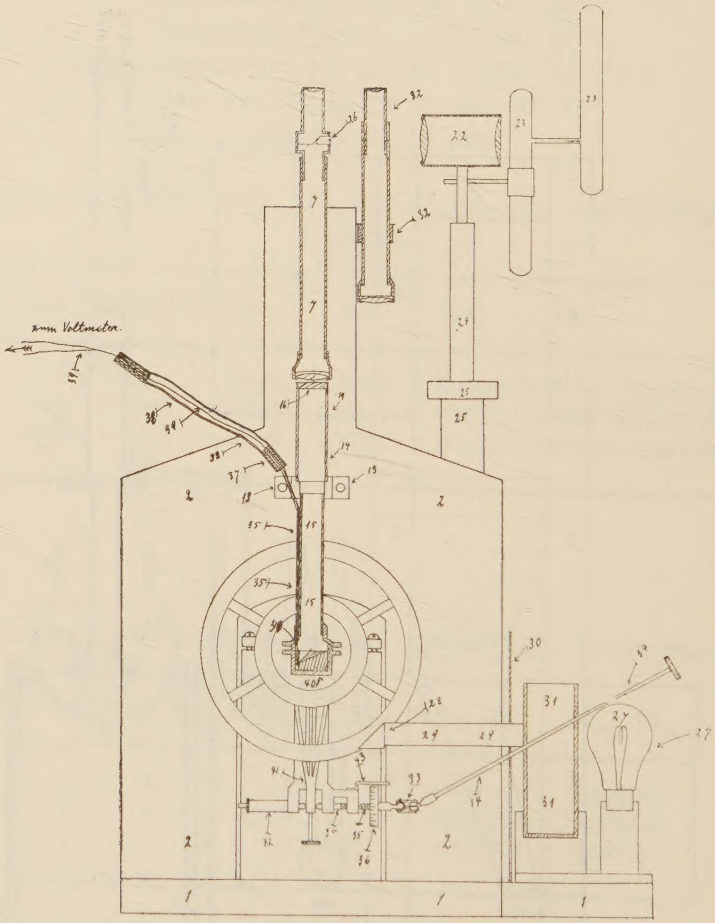
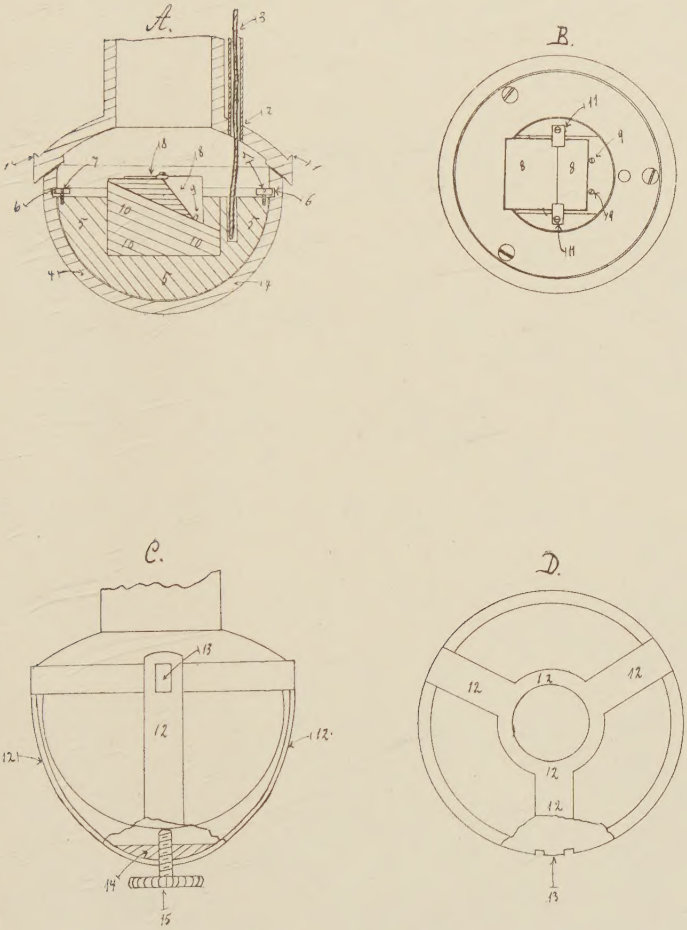



Abbildung III.